

(51)

Int. Cl.:

H 03 b, 11/00



BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES  PATENTAMT

(52)

Deutsche Kl.: 21 a4, 9/01

Behördeneigentum

(10)

(11)

(21)

(22)

(43)

(44)

## Auslegeschrift 1 591 225

Aktenzeichen: P 15 91 225.1-35 (J 34879)

Anmeldetag: 24. Oktober 1967

Offenlegungstag: —

Auslegungstag: 30. September 1971

Ausstellungspriorität: —

(30)

Unionspriorität

(32)

Datum: 24. Oktober 1966

(33)

Land: V. St. v. Amerika

(31)

Aktenzeichen: 588918

(54)

Bezeichnung: Generator zur Erzeugung von Entladungsstößen.  
hochfrequenter Impulssignale mit hoher Impulsfolgefrequenz

(61)

Zusatz zu: —

(62)

Ausscheidung aus: —

(71)

Anmelder: Ikor Inc., Burlington, Mass. (V. St. A.)

Vertreter gem. § 16 PatG: Wallach, C., Dipl.-Ing.; Koch, G., Dipl.-Ing.;  
Haibach, T., Dipl.-Phys. Dr. rer. nat.; Patentanwälte, 8000 München

(72)

Als Erfinder benannt: Proud jun., Joseph M., Wellesley;  
Huber, Henry J., Newton Heights; Mass. (V. St. A.)

(56)

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DT-PS 889 617

DT-AS 1 098 055

Die Erfindung betrifft einen Generator zur Erzeugung von Entladungsstößen, bestehend aus einer vorbestimmten Anzahl hochfrequenter Impulssignale mit hoher Impulsfolgefrequenz.

Kurze Impulse von Mikrowellenenergie bei Frequenzen in der Größenordnung von 1 GHz und darüber werden bis jetzt im allgemeinen mit Hilfe von Magnetronen, Klystronröhren und Frequenzvervielfachern erzeugt. Bei den Klystronröhren handelt es sich gewöhnlich um Vorrichtungen mit geringer Ausgangsenergie. Magnetrone sind Vorrichtungen von hoher Genauigkeit, deren Herstellung hohe Kosten verursacht. Bei beiden Arten von Vorrichtungen ist es bei einer Erhöhung der Betriebsfrequenz erforderlich, die Abmessungen der Konstruktion zu verkleinern, so daß sich die Fähigkeit der Vorrichtung, Wärme abzugeben, verringert; infolgedessen ergibt sich in der Praxis eine Begrenzung sowohl bezüglich der verfügbaren Ausgangsenergie als auch bezüglich der erreichbaren Frequenz.

Zwar ermöglichen Frequenzvervielfacher das Arbeiten im Bereich noch kürzerer Wellen, wobei die Frequenzvervielfacher gewöhnlich mit Kristallen arbeiten, mittels deren eine erzeugte Welle verzerrt wird, doch geht die aus den Harmonischen abgeleitete Energie bei zunehmenden Frequenzen sehr schnell zurück.

Brauchbare Energiemengen können bei Wellenlängen unter 5 mm mit Hilfe von Funkengeräten erzielt werden, bei denen resonanzfähige Dipole in einem isolierenden Medium verwendet werden. Bei einer solchen Vorrichtung ist ein resonanzfähiger Dipol, der gewöhnlich kugelförmig ist, in einem Abstand zwischen zwei Elektroden angeordnet. Eine Funkenentladung über die Funkenstrecke zwischen der Elektrode und dem Resonator erregt die Eigenschwingung des Resonators dadurch, daß sie ein plötzliches Zusammenbrechen des elektrischen Feldes bewirkt. Die Funken sind von gedämpften Wellenzügen von regelloser Phasenlage begleitet. Solche Vorrichtungen bilden daher Breitbandfunktensender, und ihre Energieabgabe ist begrenzt.

Es wurden auch bereits Versuche unternommen, um die Anzahl der resonanzfähigen Dipole dadurch zu vergrößern, daß die Dipole in Form einer langen Reihe angeordnet wurden, um die Energieabgabe zu vergrößern. Zwar wird hierbei eine Vergrößerung der Energieabgabe erzielt, doch steht die Energieabgabe in keinem brauchbaren Verhältnis zu der Zahl der zusätzlich verwendeten Dipole.

Ferner hat man Funkenstrecken in Mikrowellenhohlräumen angeordnet, die als resonanzfähige Filter wirken sollten. Bei diesen Vorrichtungen handelt es sich theoretisch um mit hohem Wirkungsgrad arbeitende Vorrichtungen, doch arbeiten diese Vorrichtungen in der Praxis mit einer geringen Ausgangsleistung. Man kann alle vorstehend beschriebenen Vorrichtungen als harmonische Generatoren bezeichnen, da es sich um schwingende Vorrichtungen handelt, die durch ein resonanzfähiges Element gesteuert werden, durch welches die Grundfrequenz bestimmt wird.

Ferner ist bei der Anwendung impulsförmiger Mikrowellen bei Entfernungsmeßsystemen das erzielbare Auflösungsvermögen eine Funktion der Impulsdauer. Bei den bis jetzt bekannten Mikrowellenverfahren ist es außerordentlich schwierig, Impulse oder Stöße zu

erzielen, deren Dauer kürzer ist als einige Mikrosekunden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Hochfrequenzgenerator zu schaffen, der impulsförmige Mikrowellenenergie mit hoher Ausgangsleistung und hohem Wirkungsgrad liefert und dennoch einfach im Aufbau und mit relativ geringen Kosten herstellbar ist.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß der Innenleiter einer an eine Ladeschaltung angeschalteten Übertragungsleitung in mehrere durch dielektrische Spalte distanzierte und elektrisch gekoppelte Abschnitte aufgeteilt ist, wobei die Anordnung und Abmessung derart getroffen ist, daß eine von der Ladeschaltung gelieferte lange Rechteckwelle in einer ersten Richtung längs des Leiters wandert und jeder Spalt innerhalb einer vorbestimmten Zeitdauer auf das Eintreffen der Front der Welle an dem betreffenden Spalt anspricht und ein eine vorbestimmte Länge aufweisender Teil dieser Welle reflektiert wird, indem der Spalt diesem Teil einen großen Widerstand darbietet, und daß der verbleibende Teil der langen Rechteckwelle auf den nächsten Leiterabschnitt übertragen wird, indem der betreffende Spalt so dimensioniert ist, daß er diesem verbleibenden Teil nur einen kleinen Widerstand darbietet.

Durch diesen Generator können außerordentlich kurze Wellen während einer sehr kurzen Gesamtzeit erzeugt werden. Die Wellenzüge treten mit sehr hochfrequenten Wellen auf, und die Zahl der Wellen kann auf vier oder fünf beschränkt sein. Die Gesamtdauer, während der dieser Impulszug auftritt, liegt in der Größenordnung von  $\text{sec } 10^{-9}$ . Somit stellt jede Wellenimpulsfolge einen Entladungsstoß dar, und die Frequenz der Wellen und die Ausgangsleistung in dem Entladungsstoß ist sehr groß.

Es ist zwar bekannt, zur Erzeugung kurzer Impulse einer elektrischen Übertragungsleitung durch Impulsladungsmittel eine lange Rechteckschwingung zuzuführen, von der ein Teil infolge Fehlanpassung am Ende der Leitung reflektiert wird. Bei einem bekannten Verfahren dieser Art wird eine einzige Länge eines ungeteilten Koaxialkabels benutzt, welches als Verzögerungsleitung dient. Dabei kann das Kabel an einem Ende kurzgeschlossen sein, um ein reflektierendes Ende zu bilden, und am anderen Ende kann das Kabel an das Gitter einer Röhre angeschlossen sein, wobei das freie Ende des Kabels an ein Potentiometer angeschlossen ist. Die Impulsbreite wird dadurch verringert, daß die Differenz eines unverzögerten Impulses und eines Impulses entgegengesetzter Polarität, der durch das Kabel verzögert worden ist, benutzt werden. Auch diese bekannte Anordnung besitzt jedoch einen schlechten Wirkungsgrad und ist bezüglich der Frequenz und der Leistungsabgabe beschränkt (deutsche Auslegeschrift 1 098 055).

Demgegenüber ist nach der Erfindung der Innenleiter einer elektrischen Übertragungsleitung durch Luftspalte in mehrere aufeinanderfolgende Abschnitte aufgeteilt, und diese Luftspalte wirken als Schaltmittel, um elektrisch jeden Abschnitt mit dem nächstfolgenden Abschnitt in der Weise zu koppeln, daß eine Aufteilung in Einzelimpulse erfolgt, wenn eine lange Rechteckwelle am Einspeiseende zugeführt wird. Zweckmäßigerweise sind die als Funkenstrecken wirkenden Spalte mit einem sich selbsttätig ergänzenden Dielektrikum ausgefüllt. Dabei können

sämtliche Spalte die gleiche Durchbruchverzögerungszeit gegenüber der eine vorbestimmte Spannung aufweisenden Rechteckwelle besitzen.

Nachstehend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung an Hand der Zeichnung beschrieben. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform der Erfindung und diese teilweise in einem Blockdiagramm und teilweise in einem Teilschnitt längs der Fortpflanzungsachse eines Hochfrequenzimpulses, wobei die wesentlichen Elemente der Erfindung dargestellt sind,

Fig. 2 in einem idealisierten Zeitdiagramm die fortschreitende Entstehung von beispielhaften Wellenformen bei der Anordnung nach Fig. 1,

Fig. 3 im Längsschnitt eine weitere Ausführungsform der Erfindung mit einem System zum Abführen des Hochfrequenzimpulses aus der Vorrichtung,

Fig. 4 im Schnitt eine weitere Ausführungsform der Erfindung und läßt ein anderes System zum Abführen des Hochfrequenzimpulses erkennen,

Fig. 5 ein idealisiertes Zeitdiagramm, das die Wirkungsweise der Anordnung nach Fig. 4 veranschaulicht.

Der erfindungsgemäße Hochfrequenzgenerator umfaßt allgemein eine Übertragungsleitung und Mittel, um einen Impulserzeugungsteil dieser Leitung mit Hilfe eines Gleichspannungsimpulses aufzuladen; hierbei ist die Übertragungsleitung in mehrere Abschnitte unterteilt, die jeweils durch Schaltmittel miteinander verbunden werden können, wobei diese Schaltmittel nacheinander dadurch betätigt werden, daß an die Schaltmittel ein vorbestimmtes Potential über den unmittelbar vorangehenden Teil der Leitung angelegt wird, und wobei die Schaltmittel im geöffneten Zustand einen hohen Widerstand haben, während sie im geschlossenen Zustand einen Widerstand haben, der nahezu gleich dem charakteristischen Leitungswiderstand ist. Im übrigen ist der Widerstand jedes Leitungsabschnitts vorzugsweise gleichmäßig und dem charakteristischen Leitungswiderstand angepaßt. Wenn bei der bevorzugten Ausführungsform ein Schaltmittel geschlossen wird, so daß eine Fortleitung von Energie zwischen benachbarten Teilen der Übertragungsleitung erfolgt, bleiben die Schaltmittel für Impulse geschlossen, die sich in der einen oder anderen Richtung fortpflanzen, und während einer Zeit, die derjenigen Zeit entspricht, welche benötigt wird, um dem einen oder anderen Ende der Vorrichtung die hochfrequente Energie zu entnehmen. Die Dämpfung an jedem der Schaltmittel soll gering sein; dies entspricht einer schnellen Änderung des Zustandes zwischen einem »unendlich großen« Widerstand und einem Widerstand, der eine sehr kleine ohmsche Komponente umfaßt.

Zwar können Schaltvorrichtungen, z. B. Thyatronen, mit außerordentlich kurzen Schaltzeiten arbeiten, die nur einigen Nanosekunden entsprechen, wenn Energieimpulse von erheblicher Größe in Frage kommen, doch können die einfachsten und außerordentlich schnell arbeitenden Leistungsschalter einfach durch in die Übertragungsleitung eingeschaltete Funkenstrecken gebildet werden, in denen ein dielektrisches Material angeordnet ist. Wenn in der Übertragungsleitung an einer solchen Funkenstrecke eine Überspannung auftritt, bricht die Funkenstrecke zusammen, so daß sie sehr schnell leitfähig wird. Bei einer Übertragungsleitungs-Funkenstrecke, bei der

als Dielektrikum Luft unter einem Druck von 760 mm Hg verwendet wird, wobei die Länge der Funkenstrecke etwa 0,25 mm beträgt, wird die Funkenstrecke z. B. bei einer Spannung von 30 kV innerhalb einer Nanosekunde oder weniger leitfähig, was sich jeweils nach dem Kathodenmaterial und den geometrischen Verhältnissen der Funkenstrecke richtet.

Um eine große Zahl von Rechteckwellen zu erzeugen, kann man mehrere Funkenstrecken hintereinander in eine Übertragungsleitung einschalten. Grundsätzlich wird dann die ursprünglich in einer rechteckigen Wanderwelle gespeicherte Energie durch mehrere Reflexionsvorgänge an den nacheinander zusammenbrechenden Funkenstrecken unterbrochen, so daß man einen Satz von kurzen Wanderwellen erhält. Die Breite jedes Impulses ist dann durch  $T_i$  gegeben, wobei  $T_i$  der Durchbruchverzögerungszeit jeder Funkenstrecke  $G_i$  entspricht. Man kann den Wellenzug periodisch oder aperiodisch machen, indem man die Funkenstrecken auf geeignete Weise ausbildet, d. h., indem man die Durchbruchzeit regelt und/oder indem man die Länge der Übertragungsleitung von Funkenstrecke zu Funkenstrecke auf geeignete Weise wählt. Da keine resonanzfähigen Elemente verwendet werden, darf ein solcher Hochfrequenzgenerator nicht als harmonischer Generator betrachtet werden.

In Fig. 1 erkennt man eine erfindungsgemäße Vorrichtung mit einer Übertragungsleitung 20 in Form eines coaxialen Kabels mit einem zylindrischen hohlen äußeren Leiter 22 und einem damit konzentrischen, insgesamt mit 24 bezeichneten inneren Leiter, der von dem äußeren Leiter durch ein dielektrisches Material 26, z. B. Luft, getrennt ist. Man kann Unterstutzungen, z. B. geschlitzte Scheiben aus Kunststoff, verwenden, um die beiden Leiter in der richtigen Lage zueinander zu halten; aus Gründen der Deutlichkeit sind diese Unterstutzungen in Fig. 1 nicht dargestellt. Ferner sind zur Vereinfachung der Zeichnung die Ableitungswiderstände nicht dargestellt, die jeden Abschnitt des Mittelleiters 24 mit dem äußeren Leiter 22 verbinden. Diese Widerstände, die in einem typischen Fall einen Widerstandswert von 1 Megohm haben, dienen zum Abführen der elektrischen Restladung, die anderenfalls einen unregelmäßigen Betrieb verursachen würden und insbesondere einen Betrieb mit einer hohen Impulsfrequenz behindern würden. Wenn solche Widerstände eingebaut sind, werden alle Teile der Übertragungsleitung auf dem Erdpotential gehalten, bevor die Vorrichtung betätigt wird, um einen Wellenzug zu erzeugen. Der äußere Leiter 22 dient, wie im folgenden näher erläutert, in erster Linie als Abschirmung, und daher ist er lückenlos entweder aus einem massiven Material oder aus einem geklöppelten bzw. geflochtenen Material od. dgl. ausgebildet, und er besteht aus Kupfer oder einem ähnlichen Material von hoher elektrischer Leitfähigkeit.

Eine Einrichtung zum Einführen einer im wesentlichen rechteckigen Welle in die Übertragungsleitung ist in Fig. 1 in Form einer Ladeschaltung 28 dargestellt, die mit einem Impulserzeugungsabschnitt 30 des Mittelleiters zusammenarbeitet. Solche Impulsladeschaltungen sind bereits bekannt, und man kann normalerweise einen RC-Kreis oder eine resonanzfähige Ladeschaltung verwenden. Der Mittelleiter 24 ist in mehrere hintereinander angeordnete Abschnitte 30, 32, 34, 36, 38 und 40 unterteilt.

Jeder Abschnitt der Übertragungsleitung ist dem nächstfolgenden Abschnitt nahe benachbart und von ihm durch Schaltmittel in Form eines engen Spaltes getrennt, in dem sich ein dielektrisches Material befindet. Die Anordnung nach Fig. 1 umfaßt somit die mit 42, 44, 46, 48 und 50 bezeichneten Funkenstrecken. Das dielektrische Material in den Spalten der Funkenstrecken ist vorzugsweise ein sogenanntes selbstheilendes Material, so daß sich das dielektrische Material nach dem Überschlagen eines Funkens selbsttätig erneuern kann. Die Enden der Abschnitte des Leiters 24, welche jede Funkenstrecke abgrenzen, sollen auf bekannte Weise so geformt sein, daß sich eine möglichst kurze Durchbruchzeit ergibt und daß das Material durch die beim Durchbrechen der Funkenstrecken auftretenden Lichtbögen möglichst wenig beschädigt wird. Wenn das dielektrische Material 26 der Übertragungsleitung strömungsfähig ist, kann es natürlich auch das Dielektrikum in den Funkenstrecken bilden.

Die Leitungsabschnitte 32, 34, 36, 38 und 40 bilden zusammen mit den Funkenstrecken Impulserzeugungsmittel, die es ermöglichen, eine sich längs des Abschnitts 30 fortpflanzende rechteckige Welle in mehrere Impulse oder einen Wellenzug zu verwandeln. Bei der Anordnung nach Fig. 1 haben alle Funkenstrecken 44, 46, 48 und 50 im wesentlichen die gleichen Abmessungen und daher auch gleich große Durchbruchverzögerungszeiten. Im Hinblick auf ihre im folgenden beschriebene Funktion ist die Funkenstrecke 42 so eingestellt, daß sie im Vergleich zu den Funkenstrecken 44, 46, 48 und 50 langsamer anspricht.

Wenn der Abschnitt 30 der Übertragungsleitung mit Hilfe der Schaltung 28 auf ein Potential  $V$  aufgeladen wird und wenn eine plötzliche Umschaltung zu dem nächsten Abschnitt 32 mit einem ähnlichen charakteristischen Widerstand erfolgt, wird bekanntlich in dem ursprünglich nicht geladenen Abschnitt 32 eine Wanderwelle von rechteckiger Wellenform erzeugt. Die Amplitude der Wellenform ist dann mit  $V/2$  gegeben, und die Länge  $T$  der rechteckigen Wellenform ist gleich dem Zweifachen der elektrischen Länge des Abschnitts 30. Die Funkenstrecke 42 ist so eingestellt, daß sie mit einer ausreichenden Verzögerung durchschlagen wird, damit der Abschnitt 30 auf seine volle Spannung  $V$  aufgeladen werden kann. Beim Zusammenbrechen wird die Funkenstrecke 42 schnell leitfähig, so daß dem Abschnitt 32 eine schnell ansteigende rechteckige Welle zugeführt wird. Wenn jedoch gemäß der Erfindung eine weitere Funkenstrecke 44 so angeordnet wird, daß sie den Abschnitt 32 abschließt, trifft die Wanderwelle auf den hohen Widerstand dieser Funkenstrecke, so daß sie nach hinten reflektiert wird. Die so reflektierte Welle wandert nach hinten in Richtung auf ihre ursprüngliche Quelle durch die jetzt leitfähige Funkenstrecke 42 mit einer Amplitude  $V/2$  und einer Dauer  $T_g$ . Wenn sich die Wanderwelle gegenüber der Funkenstrecke 44 auf einer hohen Überspannung befindet, wird die Funkenstrecke 44 automatisch durchschlagen, so daß sie plötzlich der Wanderwelle den für die Leitung charakteristischen Widerstand darbietet, so daß die reflektierte Welle plötzlich abklingt. Die Dauer  $T_g$  der letzteren reflektierten Welle wird daher durch die Zeit bestimmt, die die Funkenstrecke benötigt, um vollständig zusammenzubrechen.

Somit wird eine hohe Spannung von z. B. 20 kV in

Form eines Impulses an den Leitungsabschnitt 30 durch die Schaltung 28 angelegt, so daß der Abschnitt 30 aufgeladen wird. Wenn an der Funkenstrecke 42 eine hohe Überspannung erscheint, erfolgt ein Überschlag, so daß das in dem Abschnitt 30 vorhandene Potential plötzlich dem Abschnitt 32 in Form einer Wanderwellenfront 52 zugeführt wird, wie es in Fig. 2A gezeigt ist. Diese die Funkenstrecke 44 erreichende Wellenfront trifft auf den anfänglich hohen Widerstand der Funkenstrecke 44, so daß sie in der in Fig. 2B gezeigten Weise reflektiert wird, wie es durch die gestrichelt eingezeichnete reflektierte Wellenfront 54 angedeutet ist. Aus Gründen der Deutlichkeit ist die reflektierte Wellenfront mit einer etwas kleineren Amplitude dargestellt als die Wanderwelle, obwohl dann, wenn der Widerstand der nicht leitfähigen Funkenstrecke im Vergleich zum Widerstand der Leitung hoch ist, in der Praxis nur eine geringe Dämpfung auftritt. Die Funkenstrecke 44 bricht schnell zusammen, z. B. innerhalb einer halben Nanosekunde, so daß die Wellenfront 52 in den Leitungsabschnitt 34 übergeführt wird. Schließlich erreicht die Wellenfront 52 die nächste Funkenstrecke 46, wie es in Fig. 2C gezeigt ist. Hierbei beendet natürlich der Überschlag an der Funkenstrecke 44 die reflektierte Wellenform 54, die sich dann als Impuls 58 längs des Mittelleiters 24 nach hinten bewegt.

Wenn die Front der Rechteckwelle jetzt auf den durch die Funkenstrecke 46 gebildeten großen Widerstand trifft, wie es in Fig. 2D gezeigt ist, wird die Rechteckwelle ebenfalls durch den hohen Widerstand der nicht leitfähigen Funkenstrecke reflektiert, so daß sie beginnt, sich nach hinten in Richtung auf den Anfang der Übertragungsleitung zu bewegen. Jedoch bewirkt das Eintreffen der Wellenfront an der Funkenstrecke 46, daß an dieser Funkenstrecke eine Überspannung auftritt, so daß diese Funkenstrecke sehr schnell durchschlagen wird. Dieses Zusammenbrechen der Funkenstrecke ermöglicht es, die anfängliche Wanderwelle in den nächsten Abschnitt 36 der Leitung zu überführen, wobei gleichzeitig bewirkt wird, daß das reflektierte Potential zurückgeht. Auf diese Weise bewegt sich ein kurzer Impuls 60 mit der Dauer  $T_g$ , die im wesentlichen durch die Durchbruchzeit der Funkenstrecke 46 bestimmt wird, in der entgegengesetzten Richtung längs des Leiters 24, wie es in Fig. 2E gezeigt ist.

Wenn man annimmt, daß die Funkenstrecken 44 und 46 gleich große Durchbruchverzögerungszeiten gleich  $T_g$  aufweisen, wird die Dauer der längs des Abschnitts 36 wandernden Rechteckwelle jetzt auf  $T - 2T_g$  verkürzt. Wenn die Front der Welle die nächste Funkenstrecke 48 erreicht, tritt eine kleine Verzögerung ein, die auf die Durchbruchverzögerungszeit dieser Funkenstrecke zurückzuführen ist. Hierbei wird durch Reflexion ein Impuls 62 erzeugt, während sich die Impulse 58 und 60 längs des Mittelleiters bewegen, wie es in Fig. 2F gezeigt ist. Es liegt auf der Hand, daß sich danach eine ähnliche Erscheinung an der Funkenstrecke 50 abspielt.

Der zeitliche Abstand zwischen den Impulsen 58 und 60 ist gleich der Zeit, die die Wellenfront 52 benötigt, um sich längs des Abschnitts 34 fortzupflanzen, zuzüglich der Zeit, welche die reflektierte Welle benötigt, um sich nach hinten längs des Abschnitts 34 fortzupflanzen. Somit entspricht der zeitliche Abstand zwischen den verschiedenen Impulsen dem

Zweifachen der elektrischen Länge der die verschiedenen Funkenstrecken voneinander trennenden Leitungsabschnitte.

Wenn man die Durchbruchverzögerungszeiten der Funkenstrecken und die Länge der Abschnitte der Übertragungsleitung auf geeignete Weise wählt, wird somit durch aufeinanderfolgende Reflexionsvorgänge an den verschiedenen Funkenstrecken eine Impulsreihe erzeugt. Die Impulse können sich längs der Übertragungsleitung nach hinten, d. h. entgegen der ursprünglichen Laufrichtung der anfänglichen Rechteckwelle, ohne Verzögerung oder Reflexion fortpflanzen, da jede Funkenstrecke, sobald sie einmal durchschlagen wurde, im leitfähigen Zustand gehalten wird, und zwar deshalb, weil das Potential der anfänglichen Rechteckwelle vorhanden ist und die Widerstände der Leitungsabschnitte einander angepaßt sind, sowie deshalb, weil das Abklingen des leitfähigen Zustandes einer Funkenstrecke gewöhnlich erheblich langsamer erfolgt, als es der Durchbruchverzögerungszeit entspricht. Somit wirken diese durch leitfähige Funkenstrecken miteinander verbundenen Abschnitte wie eine gewöhnliche Übertragungsleitung.

Das Endergebnis dieser aufeinanderfolgenden Schaltvorgänge besteht darin, daß die Gleichspannungsenergie des rechteckigen Impulses in eine Reihe von durch Abstände getrennten Impulsen verwandelt wird, wie es in Fig. 2G dargestellt ist. Man kann eine periodische Impulsreihe auf einfache Weise dadurch erzeugen, daß man die elektrische Länge jedes Abschnitts des Impulserzeugungsteils des Mittelleiters auf geeignete Weise wählt; alternativ kann man eine aperiodische Impulsreihe dadurch erzeugen, daß man einen Mittelleiter verwendet, bei dem sich die Abschnitte bezüglich ihrer Länge unterscheiden. Die Zahl der jeweils erzeugten Impulse richtet sich nach der Zahl der Abschnitte des Impulserzeugungsteils der Leitung. Wenn vier Abschnitte vorhanden sind, wie es in Fig. 1 gezeigt ist, werden somit vier entsprechende Impulse erzeugt, wie sie in Fig. 2G dargestellt sind. Wenn die Vorrichtung einwandfrei arbeiten soll, müssen natürlich alle Funkenstrecken mit Ausnahme der letzten Funkenstrecke 50 während einer Zeitspanne leitfähig bleiben, die ausreicht, um es dem letzten Impuls 64 zu ermöglichen, das System zu durchlaufen.

Die Dauer  $T$  der anfänglichen Rechteckwelle muß in der nachstehend angegebenen Weise in einer Beziehung zu den Schaltmitteln stehen:

$$T \geq \sum_{i=1}^N T_{gi}. \quad (1)$$

Hierin ist  $N$  die Zahl der Schalter, z. B. der Funkenstrecken zum Erzeugen reflektierter Impulse mit der Dauer  $T_{gi}$ . Wenn die Schaltmittel durch Funkenstrecken gebildet werden, ist natürlich  $T_{gi}$  die Durchbruchverzögerungszeit der  $i$ -ten Funkenstrecke. Wenn alle Verzögerungszeiten gleich  $T_g$  sind, und wenn  $T_g$  seinerseits gleich der Laufzeit in beiden Richtungen durch die Abschnitte zwischen den Funkenstrecken ist, wird eine periodische und symmetrische Wellenform erzeugt, deren Frequenz durch den folgenden Ausdruck gegeben ist:

$$f = \frac{1}{2T_g}. \quad (2)$$

Die oberen Frequenzgrenzen des durch den erfindungsgemäßen Hochfrequenzgenerator erzeugten Wellenzuges werden offenbar in erster Linie durch  $T_g$  bestimmt. Zeitverzögerungen bis herab zu 0,3 Nanosekunden wurden routinemäßig gemessen, und es wird angenommen, daß Funkenstrecken, denen eine hohe Überspannung zugeführt wird, Verzögerungszeiten aufweisen können, die kürzer sind als 0,1 Nanosekunde. Somit lassen sich Frequenzen bis zu  $10^{10}$  Hz oder darüber erzielen. Natürlich erhält das System bei niedrigen Frequenzen eine unhandliche Länge, woraus sich in der Praxis eine Begrenzung der Anwendbarkeit ergibt.

Betrachtet man die ursprünglich in dem ersten Impulserzeugungsteil der Leitung gespeicherte Energie und deren nachfolgende Unterteilung in einen Wellenzug, so ist die in einem solchen Wellenzug enthaltene Energie  $P$  annähernd durch folgenden Ausdruck gegeben:

$$P \approx 10^{-3} V_0^2 \text{ (Watt)}. \quad (3)$$

Bekannte Impulsverfahren ermöglichen das Arbeiten mit Ladespannungen  $V_0$  von bis zu  $10^5$  V und möglicherweise bis zu  $10^7$  V. Somit kann man eine Rechteckwelle mit einem Energieinhalt erzeugen, der etwa  $10^9$  bis etwa  $10^{11}$  Watt beträgt. Bei der vorstehend beschriebenen Umwandlung kann man unter Berücksichtigung von Verringerungen infolge von Verlusten sowie des Wirkungsgrades der Umwandlung eine vergleichbare Energie in dem Hochfrequenzspektrum erwarten. Zusätzlich zu der Spannung, die einen der Parameter bildet, durch welche die Energie bestimmt wird, bestehen zahlreiche verschiedene Möglichkeiten, die Übertragungsleitung geometrisch auszubilden. Beispielsweise könnte man eine Streifen- oder Bandleitung verwenden, um die Kapazität je Längeneinheit und damit den Energieinhalt der erzeugten Impulse zu vergrößern.

Fig. 3 zeigt eine Ausführungsform ähnlich derjenigen nach Fig. 1, wobei gleiche Teile jeweils mit den gleichen Bezugswerten bezeichnet sind. Man erkennt jedoch, daß geeignete Mittel, z. B. in Form eines den Außenleiter 22 mit dem Leitungsabschnitt 40 verbindenden Widerstandes 66, vorgesehen sind, um die Übertragungsleitung abzuschließen. Der Widerstandswert des Widerstandes 66 wird entweder so gewählt, daß er annähernd gleich dem Wellenwiderstand der Leitung ist, wenn keine Reflexion erwünscht ist, oder daß ein großer Widerstandsabstimmungsfehler vorhanden ist, wenn eine Reflexion erzielt werden soll. Ferner ist gemäß Fig. 3 eine Leitung 68 vorgesehen, die bezüglich ihres Widerstandes auf die Übertragungsleitung abgestimmt ist, sich quer zur Achse der Übertragungsleitung durch eine Öffnung 70 des Außenleiters 22 erstreckt und direkt mit dem Leitungsabschnitt 30 verbunden ist. Diese Anordnung ermöglicht es, die durch Reflexion an den Funkenstrecken erzeugte Impulsreihe dem System zu entnehmen. Die T-förmige Anordnung, die durch die Leitung 68 und den Abschnitt 30 gebildet wird, kann eine Kopplung für einen Wellenleiter oder eine weitere koaxiale Leitung oder eine Hälfte einer Halbwellenantenne oder eines Dipols bilden.

Es ist ersichtlich, daß bei der Anordnung nach Fig. 3 die hochfrequente Impulsreihe dem Generator nahe dem Ende der Übertragungsleitung entnommen wird, in welchem der anfängliche Rechteck-



impuls erzeugt wird, d. h. nach einmaligen Reflexionen der dem System ursprünglich zugeführten Eingangsenegie. Jedoch kann der hochfrequente Impuls der Übertragungsleitung auch an deren anderem Ende entnommen werden. Fig. 4 zeigt eine Anordnung, bei der die typische Ladeschaltung 28 eine Eingangsklemme 72 umfaßt, die mit einer Quelle für eine hohe Ladespannung von z. B. 20 kV verbunden werden kann. Eine Seite des Ladewiderstandes 74 ist mit der Klemme 72 verbunden, während das andere Ende an eine Klemme eines Speicherkondensators 78 angeschlossen ist. Die andere Klemme des Kondensators ist geerdet. Bei einer Ausführungsform kann der Kondensator eine Kapazität von etwa 500 Picofarad haben, und der Widerstandswert des Widerstandes 74 kann etwa 1 Gigaohm betragen. Der Knotenpunkt zwischen dem Kondensator und dem Ladewiderstand ist über einen Dämpfungswiderstand 76 von z. B. etwa 2000 Ohm mit der Klemme 80 verbunden. Die Klemme 80 ist bei einer typischen Anordnung durch schnell arbeitende Schaltmittel, z. B. eine Funkenstrecke 82, vom Eingangsende des Mittelleiters 24 der Übertragungsleitung 20 getrennt.

Es sei bemerkt, daß der Kondensator 78 aufgeladen wird, wenn eine hohe Spannung an die Klemme 72 angelegt wird. Wenn diese Ladung bewirkt, daß an der Funkenstrecke 82 eine Überspannung erscheint, wird die Funkenstrecke durchschlagen, so daß die Spannung zu dem ersten Abschnitt 30 des Mittelleiters 24 der Übertragungsleitung gelangt. Der Widerstand 76 gewährleistet, daß die Ladung in den Abschnitt 82 exponentiell und nicht etwa schwingend übergeführt wird, um eine im wesentlichen gleichmäßige oder zügige Annäherung an die Ladespannung  $V$  sicherzustellen.

Wenn die nächste Funkenstrecke 42 zusammenbricht, wird die rechteckige Wanderwelle in den Abschnitt 32 der Übertragungsleitung übergeführt, wie es an Hand von Fig. 1 beschrieben wurde und wie es in Fig. 5A erneut dargestellt ist. Gemäß Fig. 5B und 5C entsteht eine erste Wellenfront 54 durch eine Reflexion an der Funkenstrecke 44, so daß dann der Impuls 58 nach Fig. 5C entsteht. Fig. 5D und 5E veranschaulichen die Entstehung des nächstfolgenden Impulses 60, der an der Funkenstrecke 46 auftritt. Zwar wandert die anfängliche Rechteckwelle in einer Richtung längs der Übertragungsleitung, doch pflanzen sich die reflektierten Impulse 58 und 60 in der entgegengesetzten Richtung fort. Fig. 5F und 5G veranschaulichen das nachfolgende Entstehen der Impulse 62 und 64. Wenn jeder dieser Impulse nacheinander auf den großen Widerstand trifft, der z. B. durch den Dämpfungswiderstand 76 gebildet wird, werden diese Impulse erneut reflektiert, so daß sie sich in der gleichen Richtung wie die anfängliche Rechteckwelle fortpflanzen, wobei sie jedoch der Rechteckwelle nacheilen. Dies ist in Fig. 5H, 5I und 5J dargestellt. Man erkennt, daß jeder erzeugte reflektierte Impuls die Dauer der anfänglichen rechteckigen Wanderwelle um einen Betrag verkürzt, der in der beschriebenen Weise gleich der Dauer jedes dieser reflektierten Impulse ist. Somit wird der anfängliche rechteckige Gleichspannungsimpuls von langer Dauer dazu benutzt, eine Reihe oder Serie von wandernden kleinen Rechteckwellen zu erzeugen, von denen jede durch eine Reflexion an der betreffenden Funkenstrecke entsteht und von denen jede danach erneut reflektiert wird, so daß sie sich längs

der Übertragungsleitung in der gleichen Richtung fortpflanzt wie der ursprüngliche Rechteckimpuls, wie es in Fig. 5J dargestellt ist. Vorzugsweise kann der ursprüngliche Rechteckimpuls gerade genügend lang sein, um eine solche Impulsreihe zu erzeugen, so daß die gesamte anfänglich in dem langen Impuls enthaltene Energie jetzt in der durch die kurzen Impulse gebildeten Reihe verteilt ist.

Bei der Anordnung nach Fig. 4 ist das hintere Ende der Übertragungsleitung, d. h. der Abschnitt 40, durch eine Vorrichtung zum Entnehmen der Hochfrequenzenergie abgeschlossen, die typischerweise durch eine einem Türknopf ähnelnde Verdickung 84 des Abschnitts 40 gebildet wird, welche die Energie einem rechteckigen Wellenleiter 88 zuführt und vorzugsweise in einem Abstand von einer Viertelwellenlänge vom gekrümmten Ende 86 des Wellenleiters 88 angeordnet ist.

Bei einer Versuchsausführung der erfindungsgemäßen Anordnung nach Fig. 3 wurde die Übertragungsleitung aus Aluminiumrohr mit einem Durchmesser von etwa 50 mm für den Außenleiter 22 hergestellt; hierbei bestand der Innenleiter 24 aus einer Messingstange mit einem Durchmesser von etwa 9,5 mm. Der Innenleiter wurde durch mehrere Scheiben aus Polyäthylen unterstützt, wobei darauf geachtet wurde, daß die Unstetigkeiten des Widerstandes möglichst klein gehalten wurden. Bei dieser Anordnung nach Fig. 3 hatte der Abschnitt 30 eine Länge von etwa 1320 mm, die Abschnitte 32, 34, 36 und 38 hatten jeweils eine Länge von etwa 150 mm, und die Länge des Abschnitts 40 betrug etwa 255 mm. Der Widerstand 66 hatte einen Widerstandswert, der gleich dem Wellenwiderstand der Übertragungsleitung war und etwa 100 Ohm betrug. Kapazitätsunterteilungssonden waren sowohl am vorderen als auch am hinteren Ende eingebaut, um eine Messung der Wellenform zu ermöglichen. Die Impulsadeschaltung 28 entsprach der Darstellung in Fig. 4. Der Widerstandswert des Widerstandes 74 betrug 1 Gigaohm, der Kondensator 78 hatte eine Kapazität von 900 Picofarad, und der Widerstandswert des Widerstandes 76 betrug 2 Kiloohm. An die Klemme 72 wurde eine Spannung von 20 kV angelegt. Gemäß Fig. 3 bildete die Leitung 68 zusammen mit ihrem Außenleiter einen coaxialen Dipolstrahler mit einer Gesamtlänge von etwa 305 mm. Ein einfacher Eckenreflektor aus Aluminium war hinter dem Dipol angeordnet, um jede etwa auftretende Strahlung zu richten.

Die mit Hilfe der Kapazitätsteiler gemessene Welle zeigte die erwartete Form, d. h., sie hatte die Form eines Wellenzuges, bei dem  $T_g$  etwa gleich 0,6 Nanosekunden betrug. Die einzelnen Impulse des Wellenzuges waren durch Abstände von 1,0 Nanosekunden getrennt, was der Zweiwegelaufzeit längs der Abschnitte zwischen den Funkenstrecken entsprach. Der Wellenzug wurde dann durch eine Frequenz von etwa 600 MHz mit einer Gesamtdauer von 6,4 Nanosekunden beschrieben. Während des Betriebs wurden Impulsfolgefrequenzen von 20 Impulsen/sec erzielt, wobei die Spitzenenergie innerhalb der Impulsreihe etwa  $10^8$  Watt betrug. Somit ermöglichte es das vorstehend beschriebene Versuchssystem, eine Impulsreihe oder einen Stoß zu erzeugen, der kürzer war und eine höhere Energiemenge enthielt, als es bis jetzt ohne Schwierigkeiten erreichbar ist. Da alle Funkenstrecken von dem Außenleiter der coaxialen

Leitung umschlossen sind, haben alle regellosen Wellen, die in den Funkenstrecken erzeugt werden, bestenfalls eine sehr geringe Energie, so daß sie nur eine geringe Dämpfung bewirken, und diese Wellen werden durch den Außenleiter gut abgeschirmt.

Unter Anwendung der vorstehend beschriebenen Betriebsbedingungen wurden mit dem erfindungsgemäßen System weitere Versuche durchgeführt, bei denen der Hochfrequenzstoß oder Impuls in der Form beobachtet wurde, in der er in der beschriebenen Weise von dem Dipol und dem Eckenreflektor abgestrahlt wurde. Es wurde ein Impuls bzw. Stoß von 600 MHz beobachtet, dessen Breite zwischen den der halben Energie entsprechenden Punkten etwa 5 Nanosekunden betrug. Das erzeugte Signal war sehr stark (mehrere hundert V/m bei Laboratoriumsentfernungen), und die Amplitude und die Phase des Signals waren so gleichmäßig, daß eine Entfernungsmessung mit einem Auflösungsvermögen von erheblich weniger als 0,3 m möglich war.

#### Patentansprüche:

1. Generator zur Erzeugung von Entladungsstößen, bestehend aus einer vorbestimmten Anzahl hochfrequenter Impulssignale mit hoher Impulsfolgefrequenz, dadurch gekennzeichnet, daß der Innenleiter (24) einer an eine Ladeschaltung (28) angeschalteten Übertragungsleitung (20) in mehrere durch dielektrische Spalte (42, 44, 46, 48, 50) distanzierte und elektrisch gekoppelte Abschnitte (30, 32, 34, 36, 38, 40) aufgeteilt ist, wobei die Anordnung und Abmessung derart getroffen ist, daß eine von der Ladeschaltung (28) gelieferte lange Rechteckwelle in einer ersten Richtung längs des Leiters wandert und jeder Spalt innerhalb einer vorbestimmten Zeitdauer auf das Eintreffen der Front der Welle an dem betreffenden Spalt anspricht und ein eine vorbestimmte Länge aufweisender Teil dieser Welle reflektiert wird, indem der Spalt diesem Teil einen großen Widerstand darbietet, und daß der verbleibende Teil der langen Rechteckwelle auf den nächsten Leiterabschnitt übertragen wird, indem der betreffende Spalt so dimensioniert ist, daß er diesem verbleibenden Teil nur einen kleinen Widerstand darbietet.

2. Generator nach Anspruch 1, dadurch ge-

kennzeichnet, daß die als Funkenstrecken wirkenden Spalte (42 ... 50) mit einem sich selbsttätig ergänzenden Dielektrikum ausgefüllt sind.

3. Generator nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß sämtliche Spalte (42 ... 50) die gleiche Durchbruchverzögerungszeit gegenüber der eine vorbestimmte Spannung aufweisenden Rechteckwelle besitzen.

4. Generator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die aufeinanderfolgenden Leiterabschnitte (30 ... 40) bezüglich ihres Widerstandes aufeinander abgestimmt sind.

5. Generator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Übertragungsleitung (20) als Koaxialleitung ausgeführt ist, deren Außenleiter (22) über Übergangswiderstände in der Größenordnung von 1 Megohm mit den Abschnitten (30 ... 40) des Innenleiters verbunden ist.

6. Generator nach den Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Ladeschaltung einen Leitungsabschnitt aufweist, dessen eines Ende (80) von dem Ende des ersten Innenleiterabschnitts (30) durch eine Funkenstrecke (82) getrennt ist.

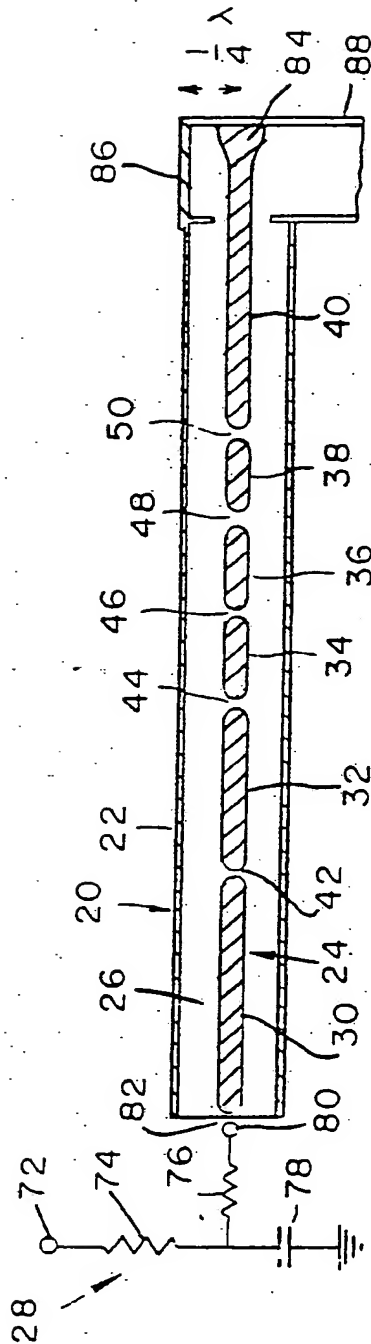
7. Generator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß am Einspeiseende der Übertragungsleitung (20) quer zu dieser eine Koaxialleitung angeschlossen ist, deren Innenleiter (68) durch eine Ausnehmung (70) des Außenleiters mit dem Innenleiterabschnitt (30) verbunden ist, um der Übertragungsleitung (20) den reflektierten Teil der Welle entnehmen zu können.

8. Generator nach den Ansprüchen 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das dem Einspeiseende gegenüberliegende Ende der Übertragungsleitung (20) mit dem Wellenwiderstand (66) (wenn keine Reflexion erwünscht ist) bzw. mit einem hiervon abweichenden Widerstand abgeschlossen ist (wenn eine Reflexion erzielt werden soll).

9. Generator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der von der Einspeisestelle am weitesten entfernte Innenleiterabschnitt (40) mit seinem vorderen verdickten Ende (84) in einen Rechteckhohlleiter (88) einsteht und im Abstand von  $\lambda/4$  vom gekrümmten Ende (86) des Wellenleiters (88) angeordnet ist.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

**Nummer:** 1 591 225  
**Int. Cl.:** H 03 b, 11/00  
**Deutsche Kl.:** 21 a4, 9/01  
**Auslegungstag:** 30. September 1971





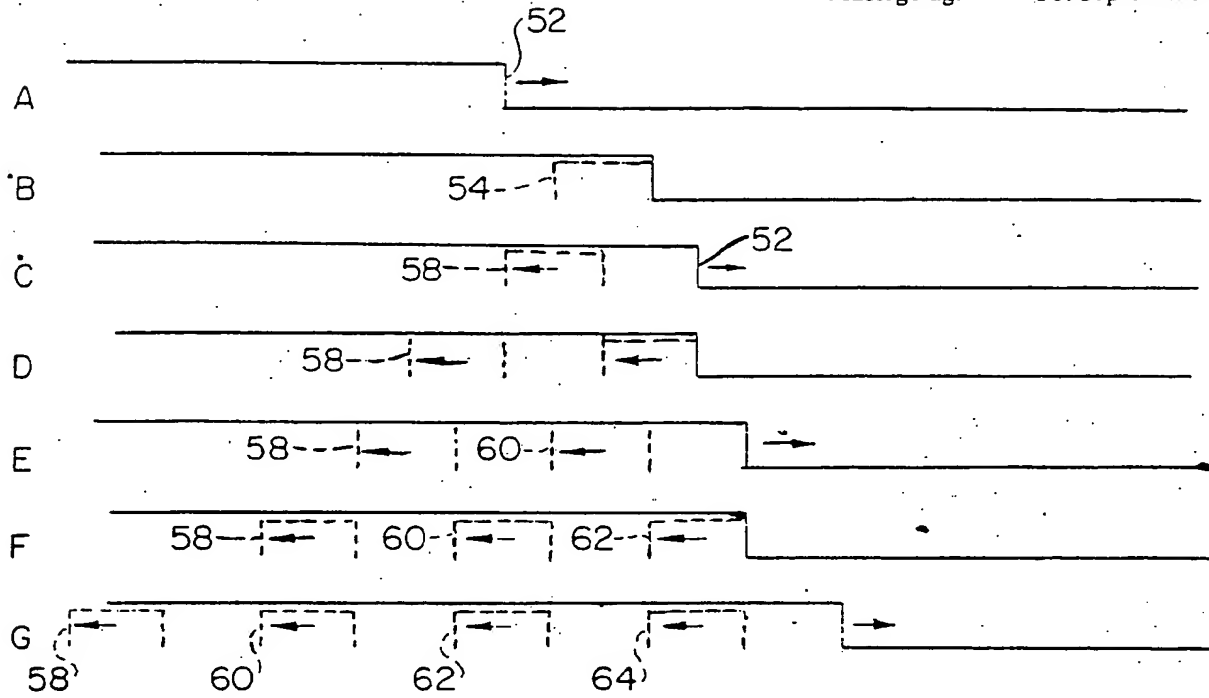


FIG. 2

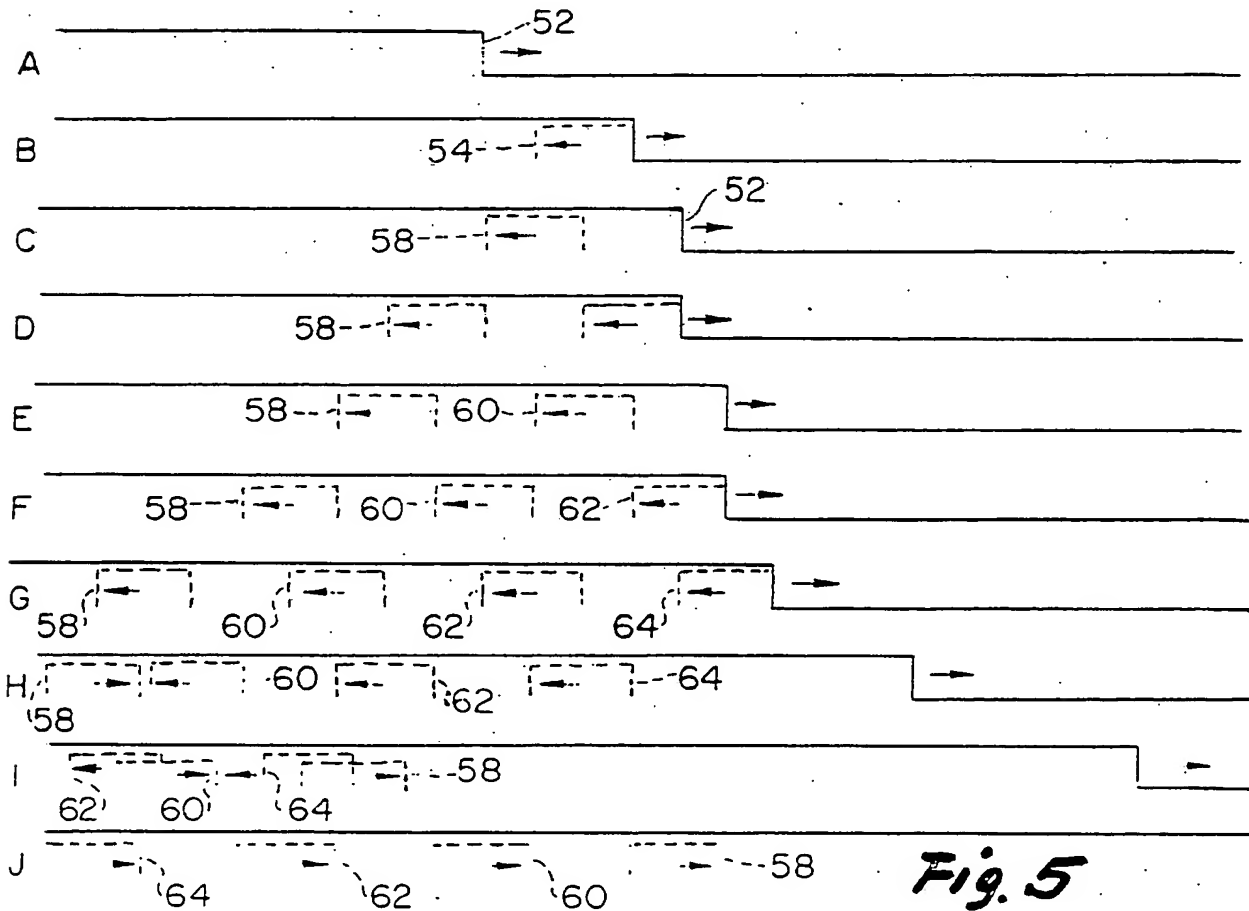


Fig. 5

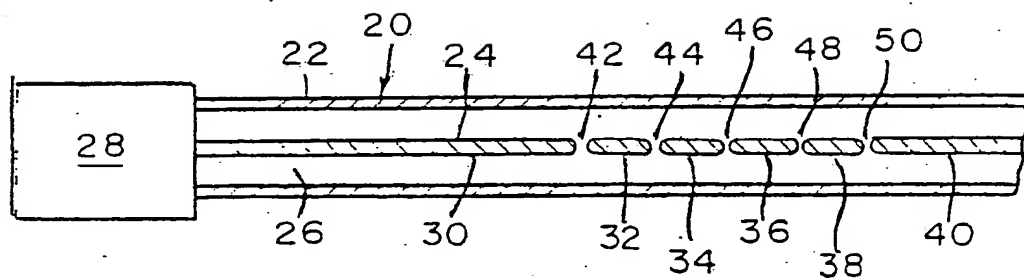


FIG. 1

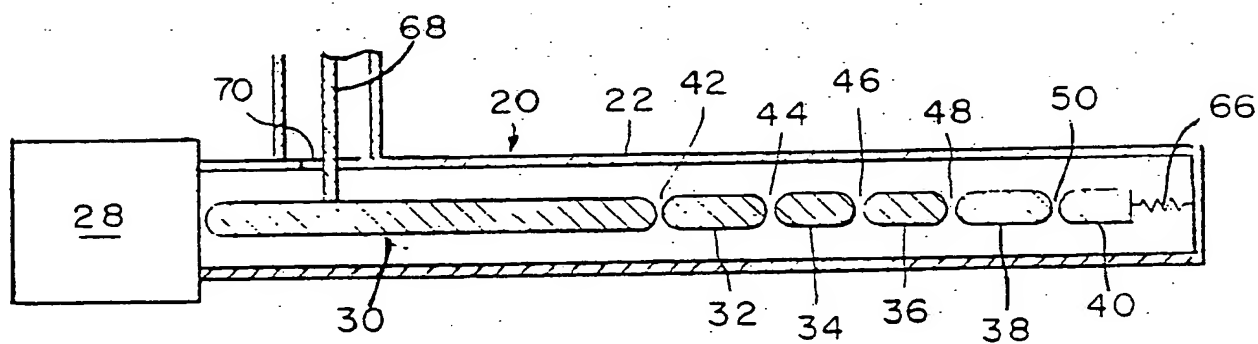


FIG. 3